

Optisches Sensorelement und Sensoranordnung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein optisches Sensorelement, bei dem in einem Halbleitersubstrat ein lichtempfindlicher Bereich, in dem durch Belichtung Ladungsträger freisetzbar sind, und zwei Dotierungszonen zum Aufnehmen von in dem  
10 lichtempfindlichen Bereich freigesetzten Ladungsträgern gebildet sind, sowie mit gegen den lichtempfindlichen Bereich isolierten Elektroden zum Erzeugen eines Feldgradienten in dem lichtempfindlichen Bereich.

15 Herkömmliche Sensorelemente dieses Typs haben den in Fig. 1 schematisch dargestellten Aufbau. Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch ein Halbleitersubstrat 1, in dem durch Diffusion oder Implantation von Fremdatomen Dotierungszonen 2, 3 gebildet sind. Eine lichtdurchlässige Oxidschicht 4 überdeckt jeweils  
20 einen Teil der Dotierungszonen 2, 3 sowie einen dazwischenliegenden Substratbereich mit intrinsischer Leitfähigkeit. Auf der Oxidschicht 4 sind zwei lichtdurchlässige Elektroden 5, 6 aufgebracht. Die Struktur ähnelt der eines herkömmlichen MOSFET, dessen Gate durch ein schmales Fenster 7 in zwei den  
25 Elektroden 5, 6 entsprechende Teile geteilt ist.

Licht dringt durch die Elektroden 5, 6 und das dazwischenliegende Fenster 7 und durch die Oxidschicht 4 in das Halbleitersubstrat 1 ein und erzeugt darin Paare von Ladungsträgern. Die Elektroden 5, 6 sind transparent, um die gesamte  
30 Substratoberfläche zwischen den Dotierungszonen 2, 3 für die Lichtabsorption nutzen zu können.

Die Elektroden 5, 6 werden jeweils alternierend mit einem Potential beschaltet, das in dem zwischen den Elektroden 5, 6 liegenden Bereich des Halbleitersubstrats 1 einen Potentialgradienten hervorruft, der je nach Polung die Ladungsträger zu einer der zwei Dotierungszonen 2, 3 „schaufelt“. Ladungsträger des geeigneten Typs, die eine der Dotierungszonen 2 oder 3 erreichen, ergeben so einen Photostrom.

Der Nutzen derartiger Sensorelemente liegt insbesondere in ihrer Eignung zur Durchführung eines optischen Entfernungsmessverfahrens. Hierfür wird eine Lichtquelle wie etwa eine Laserdiode mit dem gleichen Signal ein-aus-moduliert, das auch an einer der Elektroden 5, 6 anliegt, um zwischen diesen einen Potentialgradienten mit wechselnder Richtung zu erzeugen. Die Laserdiode strahlt das Licht auf ein Objekt, dessen Entfernung gemessen werden soll, und von dem Objekt reflektiertes Licht trifft auf die Elektroden 5, 6 und/oder das Fenster 7 und erzeugt im darunter liegenden Halbleitermaterial Ladungsträgerpaare. Wenn die Entfernung des Objektes Null ist, besteht zwischen dem auf das Fenster 7 treffenden Licht und dem beispielsweise an der Elektrode 5 anliegenden Signal kein Phasenunterschied; immer dann, wenn Licht auf das Fenster 7 trifft, liegt ein Potentialgradient an den Elektroden 5 an, der die in dem Substrat erzeugten Ladungsträger zur Dotierungszone 2 ableitet. In den Zeitintervallen, in denen die Richtung des Potentialgradienten umgekehrt ist und die Ladungsträger zur Dotierungszone 3 geführt werden, fällt kein Licht auf das Fenster 7, so dass an der Dotierungszone 2 ein maximaler Photostrom und an der Dotierungszone 3 kein Photostrom erfasst wird. Mit zunehmender Entfernung des zu erfassenden Objektes wird die laufzeitbedingte Phasenverschiebung zwischen den an den Elektroden anliegenden Signalen und dem auf das Fenster 7 treffenden Licht immer größer, und aus dem Verhältnis der an den Dotierungszonen 2, 3 abgegriffenen Photostrome kann die Entfernung des Objektes gefolgert werden.

Ein Problem bei der bekannten Struktur der Fig. 1 ist, dass das Licht in ein Silizium-Halbleitersubstrat 1 einige Mikrometer tief eindringt (ca. 20  $\mu\text{m}$  bei einer Wellenlänge von 850 nm), dass aber die Raumladungszone und damit der Feldgradient, der in dem Substrat 1 durch die gegenphasig an den Elektroden 5, 6 anliegenden Potentiale erzeugt wird, und der benötigt wird, um die Ladungsträger zu einer der Dotierungszonen 2, 3 wandern zu lassen, eine demgegenüber wesentlich geringere Eindringtiefe aufweist. Das heißt, es werden nur Ladungsträger mit guter Effektivität aufgefangen und in die Dotierungszonen geleitet, die in der Raumladungszone nahe an der Oberfläche des Halbleitersubstrats 1 und in geringer Entfernung von den Elektroden 5, 6 erzeugt werden; ein Großteil der erzeugten Ladungsträger entsteht jedoch in tieferen Bereichen des Substrats 1 außerhalb der Raumladungszone, wo kein Potentialgradient vorliegt. Bei diesen Ladungsträgern ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie keine Dotierungszone erreichen, bzw. durch thermische Diffusion eine Dotierungszone erst erreichen, nachdem das Potentialgradient seine Richtung umgekehrt hat. Die in diesen Ladungsträgern enthaltene Entfernungsinformation geht so verloren.

Außerdem ist anzunehmen, dass nur ein kleiner Teil der Oberfläche des Substrats effektiv zum Nachweis von Licht nutzbar ist. Die Anordnung der Elektroden 5, 6 an der Oberfläche des Substrats führt zu einer Verstärkung des elektrischen Feldes an den einander zugewandten Rändern der Elektroden. Die Elektroden selbst schirmen große Teile des Substrats 1 gegen das elektrische Feld des Potentialgradienten ab, so dass Ladungsträger von dort ebenfalls langsam durch thermische Diffusion zu einer der Dotierungszonen 2, 3 gelangen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Sensorelement der eingangs definierten Art anzugeben, das eine hohe Empfindlichkeit aufweist.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Sensorelement mit den Merkmalen des Anspruches 1. Indem erfindungsgemäß die isolierten Elektroden in in der Oberfläche des Substrats gebildeten Gräben angebracht sind, sind sie im Stande, ein eine Drift der Ladungsträger antreibendes elektrisches Feld zwischen benachbarten Gräben zu erzeugen, das bis in eine beträchtliche Tiefe in das Substrat vordringt und auch in oberflächenfernen Bereichen des Substrats erzeugte Ladungsträger erfasst und schnell zu einer der Dotierungszonen ableitet. Die Anordnung der Elektroden verhindert eine lokale Überhöhung des Potentialgradienten; eine Abschirmung durch Kanalbildung kann vermieden werden. Außerdem ist aufgrund der Anordnung der Elektroden ein hoher Prozentsatz der Substratoberfläche zur Signalerzeugung nutzbar. Im Idealfall reicht das elektrische Feld von einem Graben bis zum anderen, d.h. der Potentialgradient zwischen den Gräben reicht aus, um nahezu alle erzeugten Ladungsträger aus der Raumladungszone herauszuziehen.

Jede Dotierungszone sollte zweckmäßigerweise eine Isolations- schicht einer der isolierten Elektroden berühren, so dass, wenn sich durch ein an die isolierte Elektrode angelegtes Abziehpotential ein leitfähiger Kanal an der Isolationsschicht bildet, dieser Kanal Kontakt mit der Dotierungszone hat und in dem Kanal gesammelte Ladungsträger der Dotierungszone ohne Verluste zugeleitet werden können. Da anders als bei der herkömmlichen Struktur die Kanäle bei der erfindungsgemäßen Struktur zur gewünschten Driftrichtung praktisch senkrecht stehen, schirmen sie die zwischen zwei Elektroden liegenden Bereiche des Halbleitersubstrats nicht nennenswert gegen das elektrische Feld ab. So trägt die gesamte Halbleitermasse zwischen den zwei Elektroden zur Empfindlichkeit des Sensorelements bei.

Wenn die Tiefe der Gräben größer ist als die Dicke der Dotierungszonen, können den Dotierungszonen auch über die sich an den Elektroden bildenden Kanäle Ladungsträger zugeführt werden, die in tiefen Zonen des Halbleitersubstrats unterhalb

der Dotierungszonen erzeugt werden. Da die Dicke der Dotierungszonen im Allgemeinen viel kleiner als die Eindringtiefe des Lichts ist, kann sogar das Halbleitermaterial unterhalb der Dotierungszonen einen Beitrag zur Empfindlichkeit des Sensorelements leisten.

Die bevorzugte Tiefe der Gräben liegt zwischen 5 und 40  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 12 und 25  $\mu\text{m}$ . Im Allgemeinen wird man um so tiefere Gräben wählen, je größer die Eindringtiefe des nachzuweisenden Lichtes in das Halbleitersubstrat 1 ist.

Um eine gute Ausnutzung der Substratfläche zu erreichen, sind zweckmäßigerweise jeweils zwei in einer ersten Richtung benachbarte Sensorelemente beiderseits einer gemeinsamen isolierten Elektrode angeordnet. Dabei können an die gemeinsame isolierte Elektrode angrenzende Dotierungszonen der zwei Sensorelemente elektrisch leitend verbunden sein. Zwei Sensorelemente mit leitend verbundenen Dotierungszonen sind zweckmäßigerweise jeweils zu einem Pixel zusammengefasst, wobei ein Pixel durchaus mehr als zwei Sensorelemente aufweisen kann.

Um eine ortsauflösende Sensoranordnung zu schaffen, sollten wenigstens einzelne Paare von Sensorelementen existieren, bei denen an die gemeinsame isolierte Elektrode angrenzende Dotierungszonen der zwei Sensorelemente elektrisch voneinander isoliert sind, so dass die in den zwei Dotierungszonen aufgefangenen Photoströme getrennt voneinander verarbeitet werden können.

Eine solche Isolation von sich beiderseits einer isolierten Elektrode gegenüberliegenden Dotierungszonen ist zum Beispiel dadurch realisierbar, dass die zwischen ihnen liegende isolierte Elektrode am Boden ihres Grabens eine dickere Isolierschicht als an dessen Seitenwänden aufweist. Durch diese Maßnahme wird die Entstehung eines leitfähigen Kanals über den

Boden des Grabens hinweg verhindert, der sonst eine leitfähige Verbindung zwischen den Dotierungszonen darstellen könnte.

5 Einer anderen Ausgestaltung zufolge haben zwei benachbarte, zu verschiedenen Pixeln gehörende Sensorelemente nicht eine gemeinsame isolierte Elektrode, sondern zwischen zwei solchen Elektroden der benachbarten Sensorelemente ist eine die Elektroden gegeneinander isolierende Zone gebildet. Bei einer solchen isolierenden Zone kann es sich zum Beispiel um das  
10 Halbleitersubstrat selbst handeln, wenn beispielsweise die zwei Elektroden jeweils in eigenen Gräben untergebracht sind.

Die von den den Dotierungszonen abgeführten Ladungen werden auf zwei Kondensatoren gespeichert. Aus der Differenz der Ladungen dieser zwei Kondensatoren kann die Entfernung eines  
15 auf die Pixel abgebildeten Objekts bestimmt werden. Um Substratoberfläche zu sparen, sind diese Kondensatoren wie die isolierten Elektroden vorzugsweise in Gräben untergebracht, so dass ihre Platten senkrecht zur Substratoberfläche orientiert sind.  
20

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren.

25

Dabei zeigen:

Fig. 1 bereits behandelt, einen Schnitt durch ein Halbleitersubstrat mit einem herkömmlichen Sensorelement;

Fig. 2 teils im Schnitt, teils in perspektivischer Draufsicht auf die Oberfläche, ein erfindungsgemäßes Sensorelement;  
30

Fig. 3 eine Draufsicht auf ein Pixel einer ortalauflösenden Sensoranordnung, gebildet aus mehreren der in Fig. 2 gezeigten Sensorelemente;

- Fig. 4 eine Draufsicht auf mehrere Pixel einer zweiten ortsauflösenden Sensoranordnung;
- Fig. 5 einen schematischen Schnitt durch ein Sensorelement gemäß einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung; und
- 5 Fig. 6 ein weiteres Beispiel für eine Sensoranordnung;
- Fig. 7 teils im Schnitt, teils in perspektivischer Draufsicht auf die Oberfläche, ein erfindungsgemäßes Sensorelement mit Metall-Halbleiterstruktur und Schottky-Barriere;
- 10 Fig. 8 mehrere Sensorelemente mit eindiffundiertem  $p^+$ -Kontakt.

Fig. 2 zeigt ein einzelnes erfindungsgemäßes Sensorelement 10. Es umfasst zwei in einem Siliziumsubstrat 1 anisotrop ge-  
15 ätzte, parallele Gräben 11, die nach dem Ätzen oberflächlich oxidiert worden sind, um eine isolierende Oxidschicht 12 zu bilden, und die anschließend mit elektrisch leitfähigem Material wie etwa Metall oder hochdotiertem Polysilizium aufgefüllt worden sind, um gegen das Substrat 1 isolierte Elektroden 13, 14 zu bilden. Die Elektroden 13, 14 liegen einander  
20 wie parallele Platten eines Kondensators gegenüber. Die Tiefe der Gräben 11 beträgt typischerweise ca. 25  $\mu\text{m}$ , ihre Länge ist weitgehend willkürlich wählbar und kann je nach Größe eines durch ein oder mehrere Sensorelemente 10 gebildeten Pixels beispielsweise in einem Bereich von 20 bis 200  $\mu\text{m}$  liegen.  
25

Zwischen den zwei Elektroden 13, 14 und jeweils in Kontakt mit der Oxidschicht 12 einer von ihnen sind zwei Dotierungszonen 15, 16 gebildet. Die Dicke der Dotierungszonen 15, 16 beträgt einige hundert Nanometer und ist damit deutlich geringer als die Eindringtiefe des Lichtes in das Halbleiter-  
30

- substrat 1, so dass nicht nur Licht, das auf einen undotierten Oberflächenbereich 17 zwischen den Zonen 15, 16 fällt, sondern auch Licht, das die Dotierungszonen 15, 16 durchdringt, in dem zwischen den Gräben 11 liegenden empfindlichen Bereich 18 des Substrats Ladungsträger freisetzen kann. Diese Ladungsträger werden zu der jeweils mit einem Abziehpotential beaufschlagten Elektrode 13 oder 14 hin abgezogen. Wenn das angelegte Abziehpotential hoch genug ist, um Ladungsträger an die Oxidschicht 12 der Elektrode 13 oder 14 angrenzenden Bereich des Substrats 1 anzuziehen, bildet sich in diesem Bereich ein Kanal 19 aus, in dem die Ladungsträger frei beweglich sind. Über diesen Kanal 19 fließen die Ladungsträger zu der benachbarten Dotierungszone 15 bzw. 16 ab.
- Von den Dotierungszonen 15, 16 werden die Ladungsträger über einen daran angebrachten Ohmschen Kontakt abgeleitet, z.B. zu (nicht dargestellten) Sammelkondensatoren, deren Platten wie die Elektroden 13, 14 jeweils durch elektrisch leitfähiges Material gebildet sind, das in einem in das Halbleiter-substrat 1 geätzten Graben, gegen das Substrat 1 elektrisch isoliert, eingebracht ist.

- Fig. 3 zeigt eine Draufsicht auf ein Pixel einer Sensoranordnung, das aus vier Sensorelementen 10, wie in Fig. 2 dargestellt, zusammengesetzt ist. Ein einzelnes Sensorelement 10 entspricht in Fig. 3 dem durch ein gestricheltes Rechteck gekennzeichneten Bereich. Es gibt zwei isolierte Elektroden 13, in Fig. 3 mit 13' bezeichnet, die jeweils zwei einander benachbarten Sensorelementen 10 angehören und an deren zwei Längsseiten sich Dotierungszonen 15, 16 erstrecken. Die zwei Dotierungszonen 15, 16 an jeder der Elektroden 13' sind über ein Längsende der Elektrode 13' verlängert und so miteinander elektrisch leitend verschmolzen. Nur die äußeren Elektroden, mit 13'' bezeichnet, weisen nur an einer Längsseite eine Dotierungszone 15, 16 auf.



Die Elektroden 13', 13" sind jeweils alternierend mit zwei Versorgungsleitungen 20, 21 verbunden, über die sie jeweils um 180° phasenverschoben das Abziehpotential empfangen. Entsprechend sind die Dotierungszonen 15, 16 jeweils alternierend mit zwei Signalleitungen 22, 23 verbunden, über die die Ladungsträger zu Sammelkondensatoren und/oder anderen Auswertungsschaltungen abfließen.

Bei der in Fig. 4 gezeigten Sensoranordnung ist jede einzelne eine isolierte Elektrode 13 oder 14 umgebende Dotierungszone 15 oder 16 mit einer eigenen Signalleitung 24 versehen. Dies bedeutet, dass, wenn die Elektroden 13 mit dem Abziehpotential beschaltet sind, die sie umgebenden Dotierungszonen 15 jeweils Ladungsträger aus den zwei in der Fig. jeweils unter dem Bezugszeichen 24 zusammengefassten Sensorelementen sammeln, während, wenn die Elektroden 14 das Abziehpotential empfangen, diese jeweils Ladungsträger aus den mit 25 bezeichneten Paaren sammeln. Es bilden also jeweils zwei Sensorelemente 10 ein Pixel, wobei die Position der Pixel jeweils periodisch um eine halbe Pixelbreite schwankt bzw. die Zuordnung der Sensorelemente 10 zu einem Pixel in Abhängigkeit davon variiert, an welchen Elektroden das Abziehpotential anliegt. Mit einer solchen Sensoranordnung können zwar sehr hoch auflösende Bilder, insbesondere in einem Halbbildmodus, erzeugt werden; um diese Bilder für eine ortsauflösende Entfernungsmessung einzusetzen, ist jedoch ein größerer Verarbeitungsaufwand erforderlich als bei stationären Pixeln gemäß der Ausgestaltung der Fig. 3.

Kleine stationäre Pixel können mit der Ausgestaltung der Fig. 5 erhalten werden. Das in dieser Fig. dargestellte Sensorelement 10' unterscheidet sich von dem Sensorelement 10 der Fig. 2 dadurch, dass die Oxidschicht 12 der isolierten Elektroden 13, 14 jeweils am Boden 26 des Grabens, in dem die Elektroden angeordnet sind, deutlich breiter gemacht ist als an dessen Seitenflanken 27. Infolgedessen ist die elektrische Feldstärke in dem an die Oxidschicht 12 angrenzenden Halbleitermate-

rial jeweils am Boden 26 geringer als an den Seitenflanken 27. Dadurch ist es möglich, ein Abziehpotential an eine der Elektroden 13, 14 anzulegen, dass zwar stark genug ist, zwei Kanäle 19 auf beiden Seiten der Elektrode zu erzeugen, nicht  
5 aber einen den Boden 26 überbrückenden Kanal, der diese zwei Kanäle 19 kurzschließen würde. Da bei dieser Ausgestaltung die Dotierungszonen 15, 16 beiderseits einer isolierten Elektrode 13, 14 auch nicht auf der Substratoberfläche miteinander verbunden sind, beeinflussen sich benachbarte Sensorelemente 10' gegenseitig nicht, so dass jedes Sensorelement  
10 10' ein von den anderen unabhängiges Pixel darstellt.

Eine andere Möglichkeit, benachbarte Sensorelemente zu entkoppeln, um sie jeweils jedes für sich als ein Pixel zu nutzen, ist in Fig. 6 gezeigt. Die einzelnen Sensorelemente 10  
15 sind hier mit denen aus Fig. 2 identisch, doch anders als in Fig. 3 gehört jede isolierte Elektrode 13, 14 genau einem Sensorelement 10 an, und zwischen einander benachbarten Elektroden 13, 14 verschiedener Sensorelemente 10 befindet  
20 sich eine isolierende Schicht 28, hier in Form von Material des Halbleitersubstrats 1.

Um die Kapazität der gesamten Sensoranordnung zu verringern, kann die isolierende Schicht auch ein weiterer Graben sein,  
25 der die Gräben benachbarter Elektroden 13, 14 elektrisch voneinander trennt. Ein solcher Graben kann das gesamte Pixel umgeben und so zur optischen und elektrischen Trennung der einzelnen Pixel voneinander beitragen.

30 In der Fig. 7 wird entsprechend der Fig. 2 ein einzelnes erfindungsgemäßes Sensorelement gezeigt. Das in der Fig. 7 gezeigte Sensorelement unterscheidet sich dabei von dem in Fig. 2 gezeigten Sensorelement darin, dass im geätzten Graben 11 anstelle einem Metall-Oxid-Semiconductor (MOS) eine einfache  
35 Metall-Halbleiterstruktur 31 eingebracht ist. Statt einer O-

xidschicht werden hierbei die in den lichtempfindlichen Bereich 18 geätzten Gräben 11, analog zu dem hochdotierten Poly-Silizium 14, mit einem Metall aufgefüllt. Hierbei ist die in der Fig.2 gezeigte Oxidschicht 12 nicht vorhanden. Bei den mit dem Metall aufgefüllten Gräben 11 handelt es sich um Metall-Halbleiter-Kontakte, welche gegenüber dem Silizium des lichtempfindlichen Bereichs 18 Schottky-Barrieren 30 bilden. Die im Silizium erzeugten Ladungsträger werden phasengerecht, d.h. die beiden Schottky-Dioden werden um  $180^\circ$  Phasenverschoben angesteuert, über die beiden vertikalen Schottky-Dioden aus dem Silizium herausgezogen und an die Sammelkondensatoren weitergeleitet. In besonders vorteilhafter Weise weist das Sensorelement hierbei keine Dotierungszonen (15,16) auf. Dadurch kann das Sensorelement einfach hergestellt werden, wobei weniger Arbeitsschritte benötigt werden.

Fig. 8 zeigt mehrere erfindungsgemäße Sensorelemente mit an der Oberfläche der lichtempfindlichen Bereiche 18 eindiffundierten  $p^+$ -Kontakten 32. Mittels der breiten Ohmschen  $p^+$ -Kontakte 32 kann das Gleichlicht, z.B. Sonnenlicht in der Umgebung, eliminiert werden. An der Oberfläche der lichtempfindlichen Bereiche 18 werden neben den Signalphotonen auch Photonen aus dem Gleichlicht der Umgebung absorbiert. Dabei besitzt der kurzwellige Anteil der Gleichlichtphotonen nur eine geringe Eindringtiefe in Silizium und wird daher an der Oberfläche des lichtempfindlichen Bereichs 18 absorbiert.

Signalphotonen des nahen Infraroten Wellenlängenbereichs dringen dagegen tiefer in das Silizium ein. Durch Anlegen einer Rückwärtsspannung an den mit der Leiterbahn 33 verbundenen eindiffundierten  $p^+$ -Kontakten werden diejenigen Ladungsträger abtransportiert, welche durch die kurzwellige Gleichlichtstrahlung in der Nähe der Oberfläche des lichtempfindlichen Bereichs 18 erzeugt werden und nichts zum Signal beitragen.

Patentansprüche

- 5 1. Optisches Sensorelement (10), bei dem in einem Halbleitersubstrat (1) ein lichtempfindlicher Bereich (18), in dem durch Belichtung Ladungsträger freisetzbar sind, und zwei Dotierungszonen (15; 16) zum Aufnehmen von im lichtempfindlichen Bereich (18) freigesetzten Ladungsträgern gebildet sind, sowie mit gegen den lichtempfindlichen Bereich (18) isolierten Elektroden (13, 14) zum Erzeugen eines Feldgradienten in dem lichtempfindlichen Bereich (18),  
10 da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
15 dass die isolierten Elektroden (13, 14) in in der Oberfläche des Substrats (1) gebildeten Gräben angebracht sind.
2. Optisches Sensorelement nach Anspruch 1,  
20 da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass jede Dotierungszone (15, 16) eine Isolationsschicht (12) einer der isolierten Elektroden (13, 14) berührt.
3. Optisches Sensorelement nach Anspruch 1 oder 2,  
25 da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass an jeder Dotierungszone (15, 16) ein ohmscher Kontakt gebildet ist.
4. Optisches Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
30 da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Tiefe der Gräben größer ist als die Dicke der Dotterungszonen (15, 16).

5. Optisches Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Tiefe der Gräben zwischen 5 und 40  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 12 und 25  $\mu\text{m}$  tief sind.
6. Optisches Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass jeder Dotierungszone (15, 16) ein Sammelkondensator zum Sammeln von aus der Dotierungszone (15, 16) abgezogenen Ladungsträgern zugeordnet ist.
7. Optisches Sensorelement nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass jeder Sammelkondensator zwei leitfähige Platten umfasst, die in Gräben des Substrats angeordnet sind.
8. Optisches Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass anstelle isolierter Elektroden (13,14) aus Metall-Halbleiterstrukturen (31) aufgebaute Elektroden vorhanden sind, welche gegenüber dem lichtempfindlichen Bereich (18) Schottky-Barrieren (30) bilden.
9. Optisches Sensorelement nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Sensorelement keine Dotierungszonen (15,16) aufweist.
10. Optisches Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,

dass an der Oberfläche des lichtempfindlichen Bereichs (18) ein ohmscher p-Kontakt (32) eindiffundiert ist.

- 5 11. Optische Sensoranordnung mit einer Mehrzahl von Sensoren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei in einer ersten Richtung benachbarte Sensorelemente (10) beiderseits einer gemeinsamen isolierten Elektrode (13') angeordnet sind.
- 10 12. Optische Sensoranordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass an die gemeinsame isolierte Elektrode (13') angrenzende Dotierungszonen (15, 16) der zwei Sensorelemente (10) elektrisch leitend verbunden sind.
- 15 13. Optische Sensoranordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Sensorelemente (10) zu einem Pixel zusammengefasst sind.
- 20 14. Optische Sensoranordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass an die gemeinsame isolierte Elektrode (13') angrenzende Dotierungszonen (15, 16) der zwei Sensorelemente (10, 10') elektrisch voneinander isoliert sind.
- 25 15. Optische Sensoranordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Isolierschicht (12) einer der isolierten Elektroden (13, 14) am Boden (26) ihres Grabens dicker als an dessen Seitenwänden (27) ist.
- 30 16. Optische Sensoranordnung mit einer Mehrzahl von Sensoren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einander benachbarten isolierten Elektroden
- 35

(13, 14) von zwei in einer ersten Richtung benachbarten Sensorelementen (10) eine die Elektroden (13, 14) gegeneinander isolierende Zone (28) gebildet ist.

- 5 17. Optische Sensoranordnung nach Anspruch 16,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die isolierende Zone (28) durch das Halbleitersubstrat (1) oder einen Graben gebildet ist.



Fig. 1

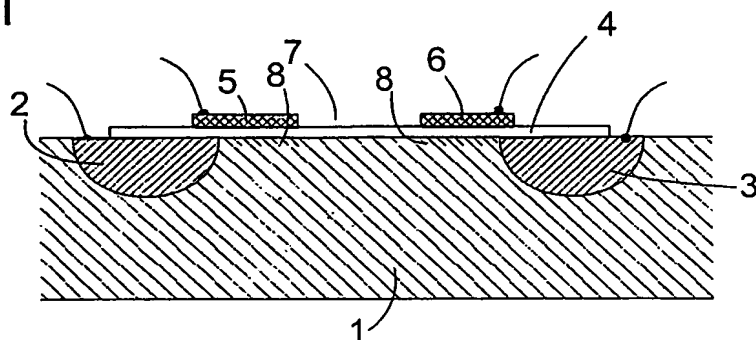
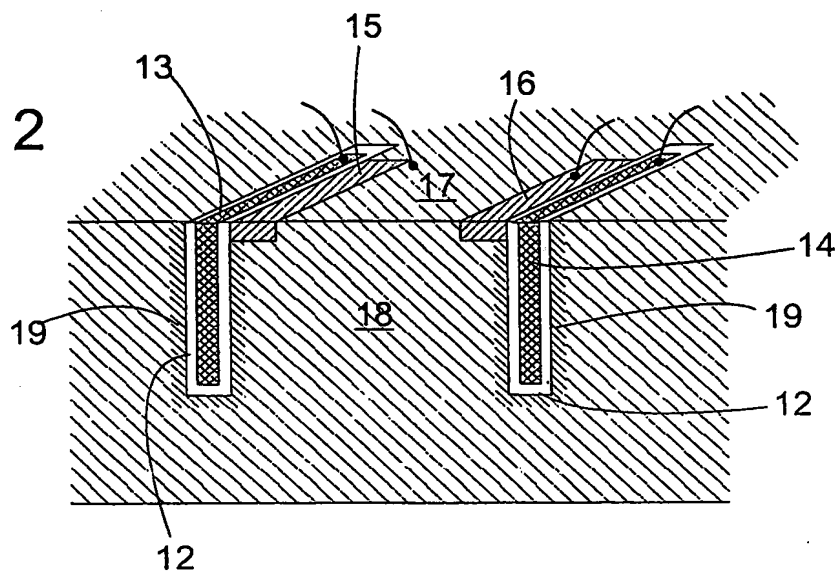
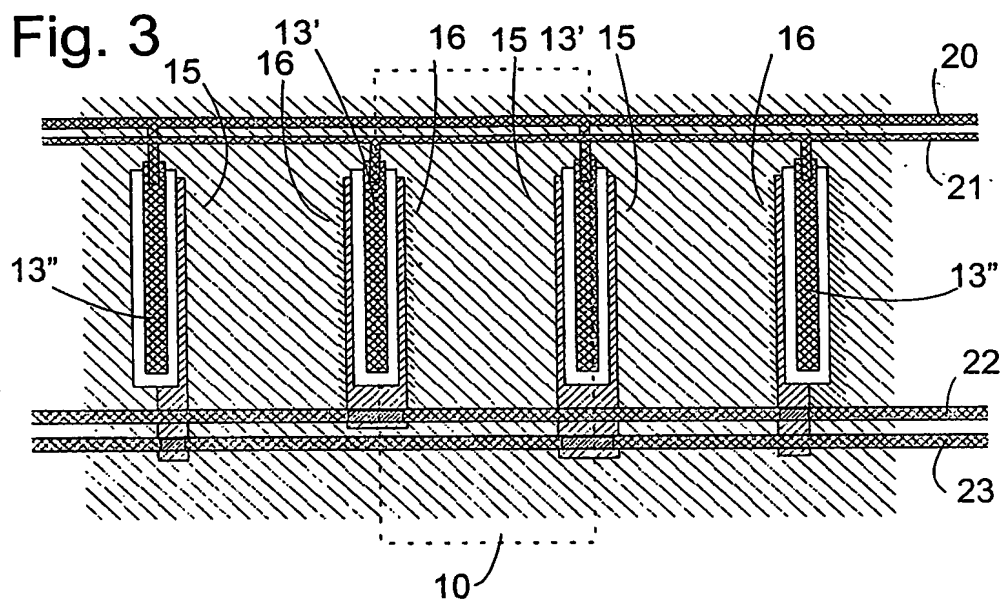


Fig. 2





**Fig. 4**

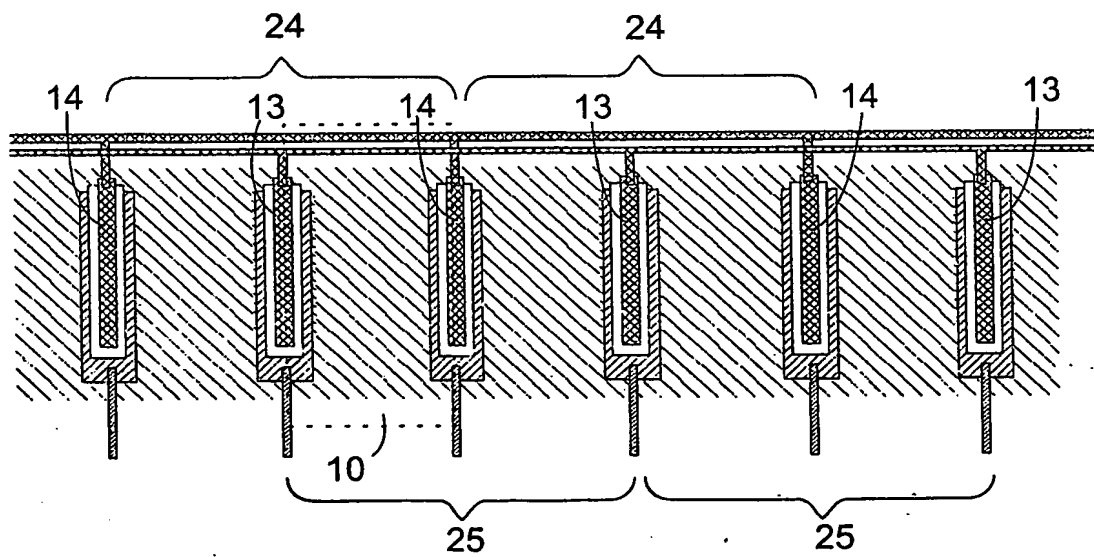
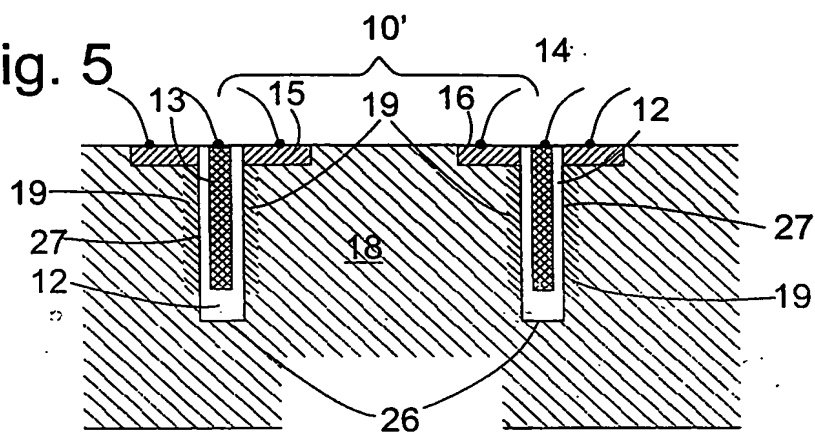
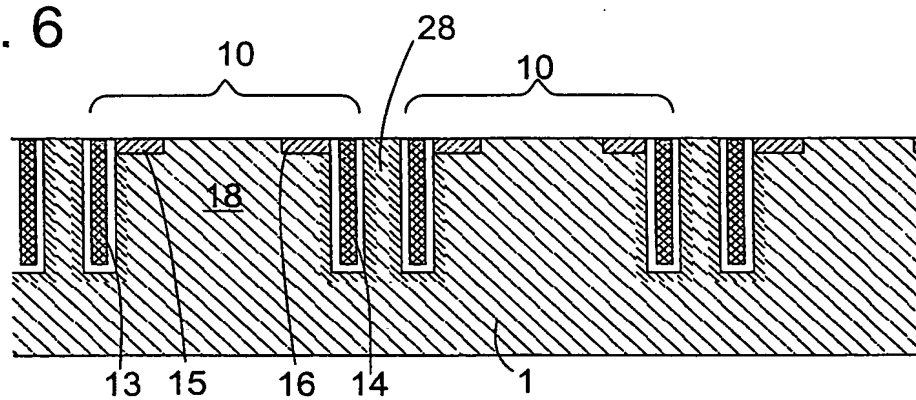


Fig. 5



**Fig. 6**



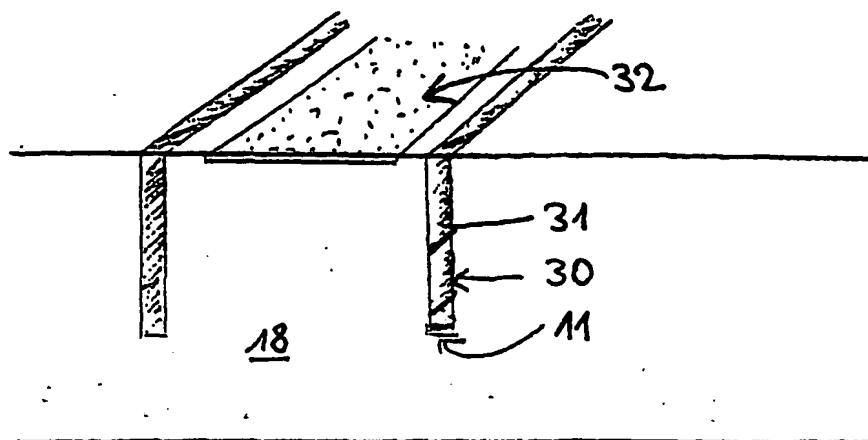


FIG. 7

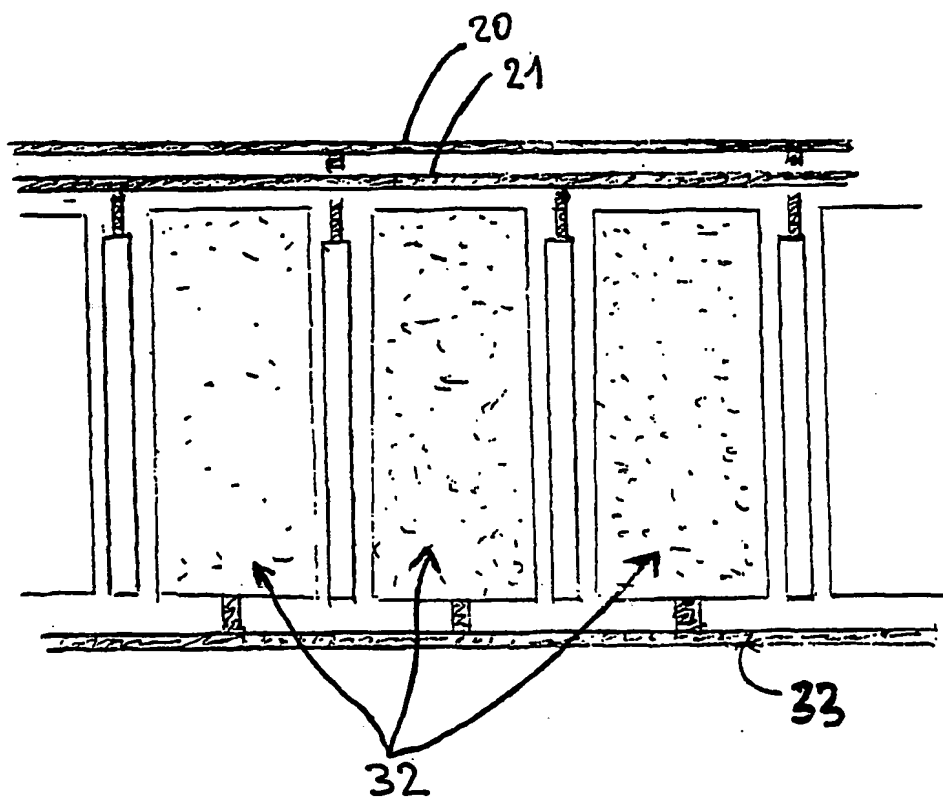


FIG. 8